

设计指南

直接金属打印 设计指南



目录

- [03](#) 为何选择直接金属打印
- [04](#) 直接金属打印 (DMP) 流程
- [05](#) 直接金属打印的基本原理
- [15](#) 减少支撑物策略
- [23](#) 部件定向指南
- [29](#) 设计指南
- [36](#) 后处理
- [43](#) 我们将竭诚为您提供帮助



为何选择直接金属打印

直接金属打印 (DMP) 是一种可生产各种金属合金材料部件的增材制造技术。

直接金属打印以金属粉末为最初的原材料,逐层制造产品。随后将每一层金属粉末熔化在前一层上,生产出可与传统制造技术(铣削、铸造)生产的部件相媲美的坚固且致密的部件(高达 99.9%)。直接金属打印过程几乎不产生材料浪费,并且能够构建其他制造方法无法实现的复杂几何形状。



DMP 是构建有机形状的复杂内部特征(如随形冷却流道)的理想之选



将多个部件组合成为单个产品,避免了装配流程(如焊接)的缺点,继而提升了功能

直接金属打印的优势



减轻重量

通过晶格结构、拓扑优化等方式。



更大设计自由度

可制作经优化的有机形状



增强部件功能

例如热功能、流量功能、结构功能,或将各种功能整合到一个部件中



提升系统性能

提高燃油效率,降低维护成本



定制化产品

可生产内部结构,例如无法通过其他方式生产的复杂冷却流道和医疗保健领域的患者特定应用等。



减少部件数量并去除二次操作

减少或消除装配步骤



生产速度快

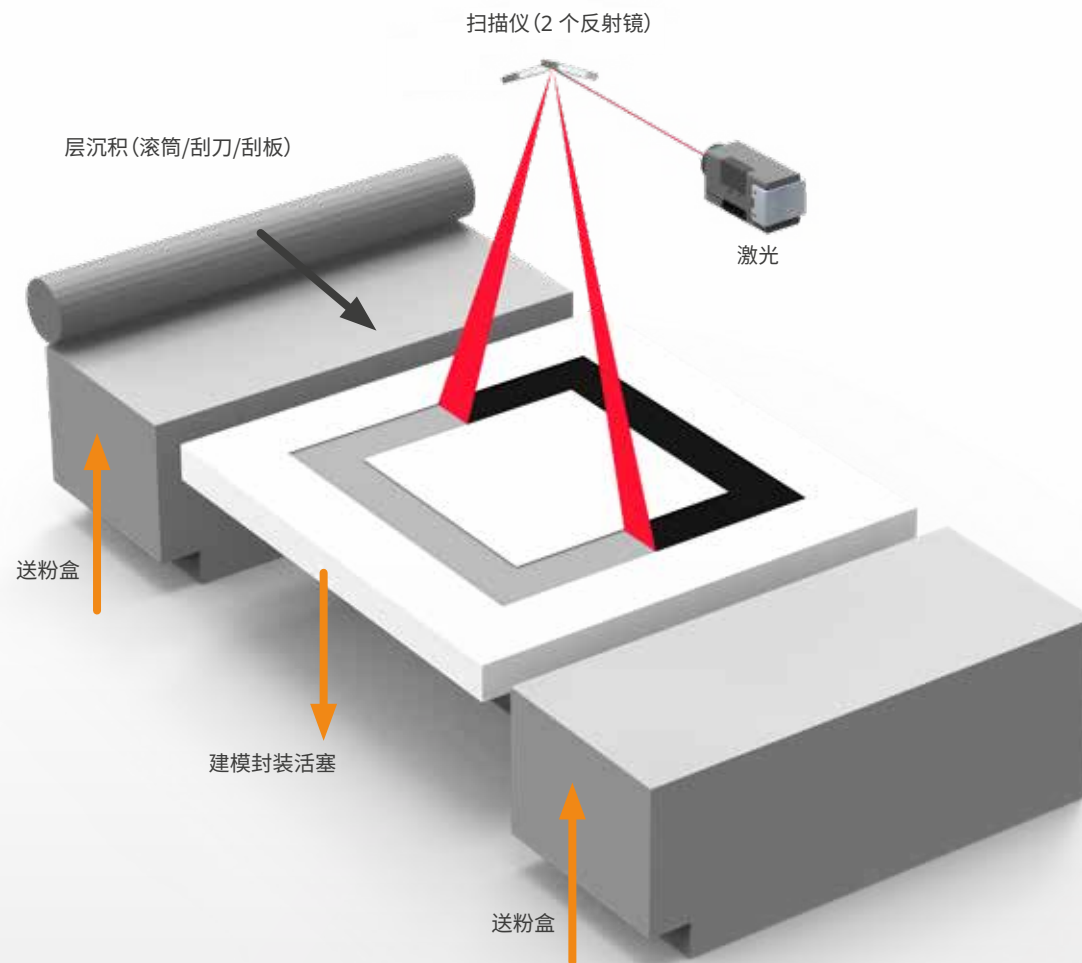
无需模具或大量编程工作



减少浪费

直接金属打印 (DMP) 流程

- 金属粉末层可逐层沉积, 层厚低至 10 微米
- 激光扫描仪可应用最佳能量密度, 将粉末完全熔化为完全致密部件 (高达 > 99.9%)
- 双向粉末涂层可提高吞吐量
- 超低真空, 氧气含量始终低于 15 ppm
- 通过回收氩气, 最大限度地减少耗时较长的建模任务的耗材
- 可使用额外的现场监控工具, 对产品进行检测和鉴定

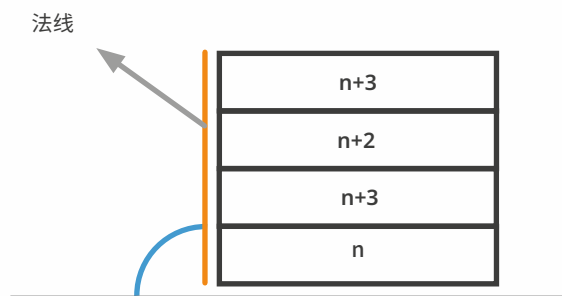


直接金属打印的 基本原理



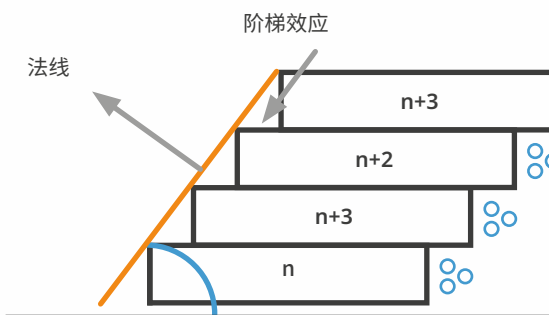
基本术语

中间曲面



中间曲面的特征是,对象的法线指向方向与建模平台平行

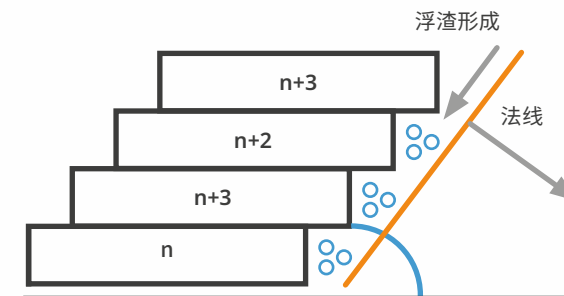
面朝上的曲面



面朝上曲面的特征是,对象的法线指向方向远离建模平台

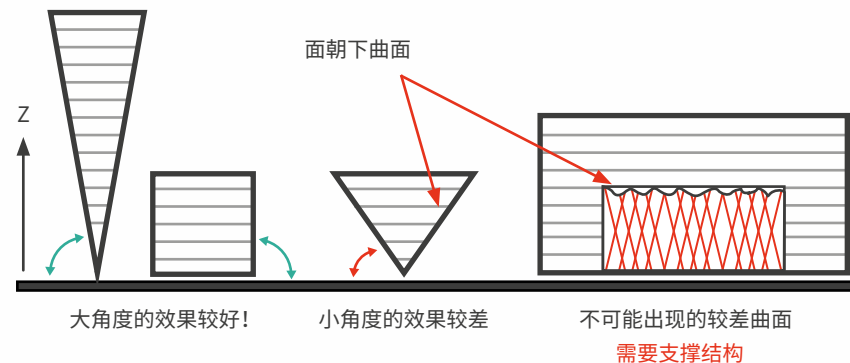
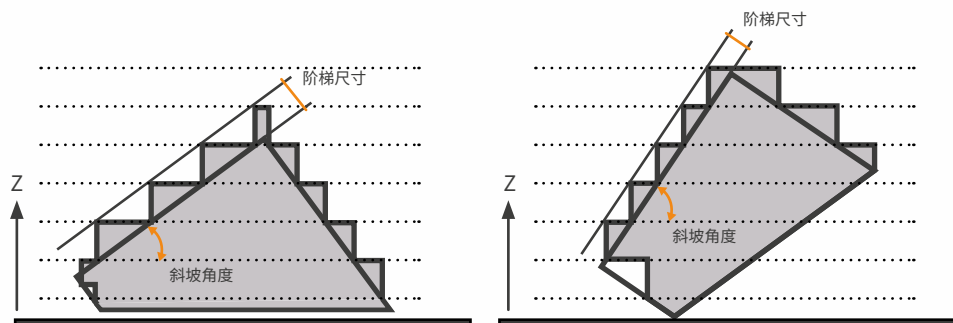
面朝下曲面

面朝下曲面的边缘采用不熔化的金属构建



面朝下曲面的特征是,对象的法线指向建模平台

对质量的影响



DMP 制造的曲面质量取决于曲面的方向。

可通过构建更多竖向或完全水平方向的曲面来降低所有增材制造技术所固有的阶梯效应。

此效应在面朝上曲面上清晰可见并且至关重要。

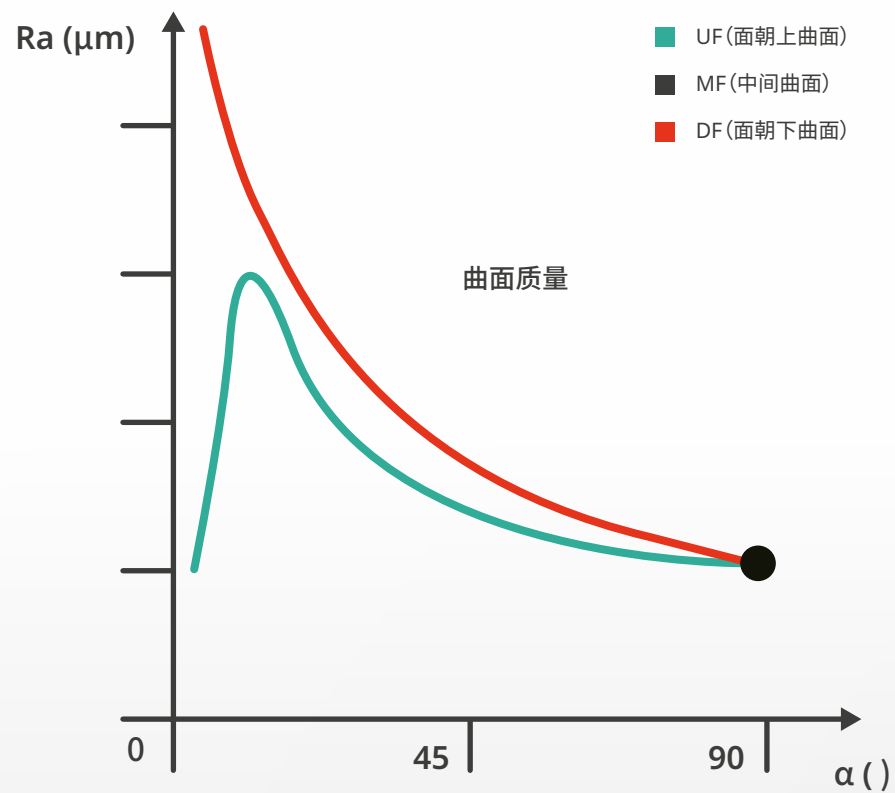
在面朝下区域, 浮渣形成效应在大多数情况下比阶梯效应大。浮渣是由于疏松粉末熔化导致的无用熔融材料和颗粒。

- 角度越小, 越容易形成浮渣, 从而导致曲面质量更差
- 角度较小时需要支撑结构, 这是在打印过程中提供额外稳定性的临时特征, 将在后处理操作中移除
- 使用支撑结构的曲面质量更差



对质量的影响

曲面质量取决于曲面类型和角度



直接金属打印的

部件为什么会出现热应力？

- 熔化温度高 (例如钛:1650°C; 不锈钢:1200°C)
- 冷却速度快, 可达到 1 ms/100°C)
- 由于在每一层中, 上层被再次加热和冷却, 应力在所有层中累积。已经固化的层阻碍了膨胀和收缩, 从而导致残余应力
- 变形行为因材料而异

对这些应力的重要影响

$\sigma_T \sim A$ 热应力与熔融曲面的面积成正比。

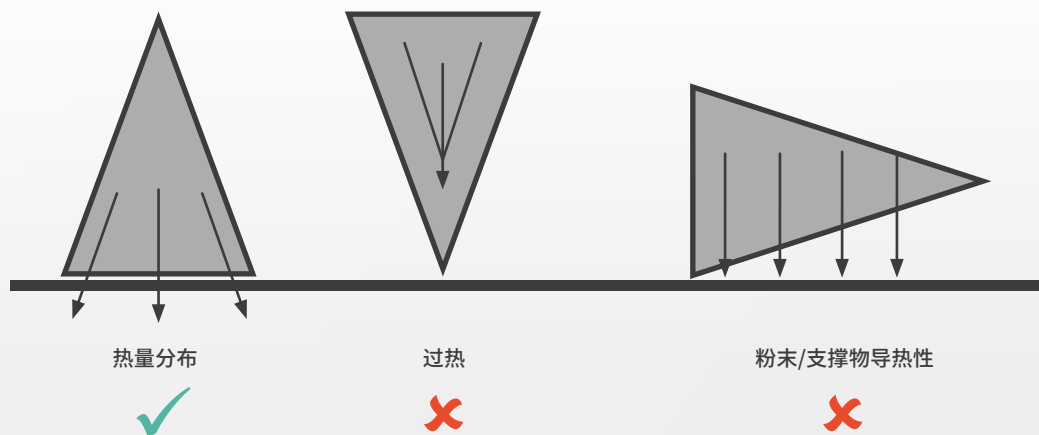
如何减轻这种情况：

- 减小每层要熔化的面积
- 确保部件沿 Z 轴方向达到最长
- 与其采用一个大区域, 不如划分为多个小区域

$\sigma_T \sim \Delta T$ 热应力与固化过程中的温度下降成正比

确保向底板和机器的传热效果良好。

传热效果越好, 部件的翘曲就越少。



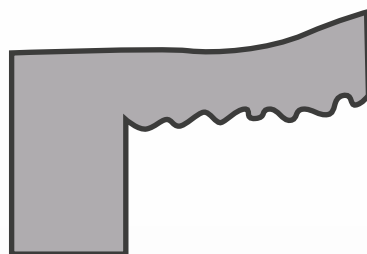
如何处理热应力

- 残余应力会导致部件出现翘曲的趋势
- 要避免翘曲以及将部件保持在原位, 需要使用支撑结构
- 部件构建结束后, 应力仍留在部件中 — 如果立即移除支撑物, 部件仍会偏离所需位置而变形

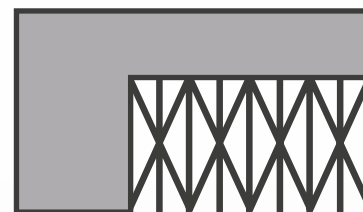
在清除粉末后、移除平台和支撑物前, 需要进行热处理来消除应力



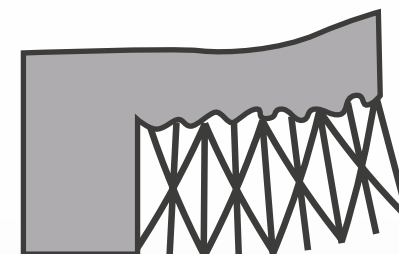
设计的模型



翘曲和形成浮渣



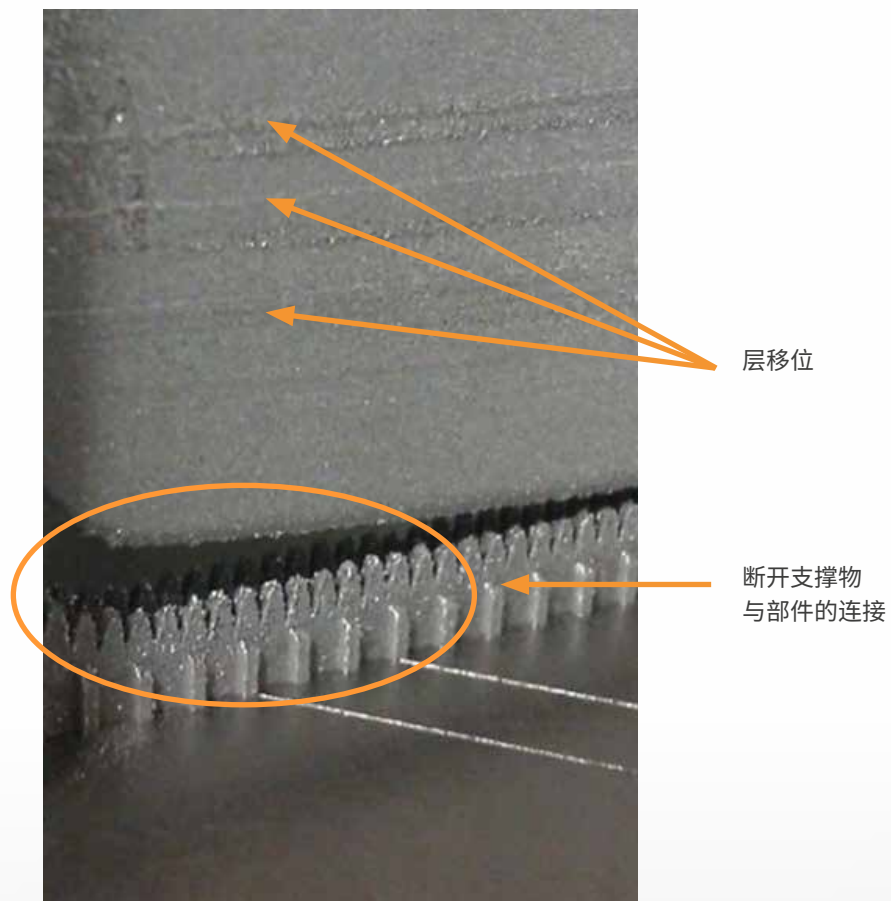
支撑结构



如果在热处理之前
从建模板移除,
会出现翘曲

层移位

- 由不当支撑造成
- 支撑物和部件之间的连接处开裂, 释放出残余应力
- 部件随着开裂加剧而逐渐移位
- 激光并未发现此变化, 并按照设计意图继续扫描
- 最终导致整个扫描区域发生水平“移位”



导致收缩线的原因

当在一层中连接两个单独实体时会出现收缩线

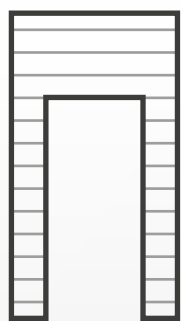
- 连接面会收缩并将两个实体拉向彼此
- 再次按原始尺寸打印下一层
- 部件中可见的线
- 通常出现在搭桥/内部流道上

层移位 = 支撑问题

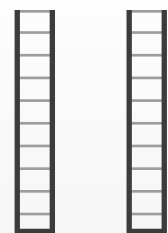
收缩线 = 几何形状问题



设计的模型

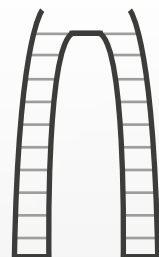


垂直建模



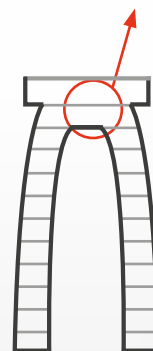
随着这些垂直立柱逐渐构建, 每个立柱本身都有抗拉残余应力, 但不会相互作用。

水平建模



由于残余应力的相互作用, 如果横截面发生巨大而突然的变化, 会导致收缩线形成。

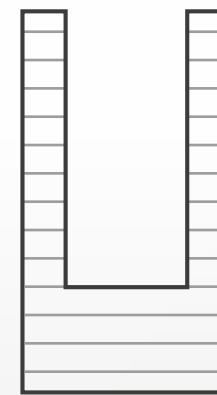
变形



激光会根据您设计的模型继续扫描。

VS

选项



经优化的方向

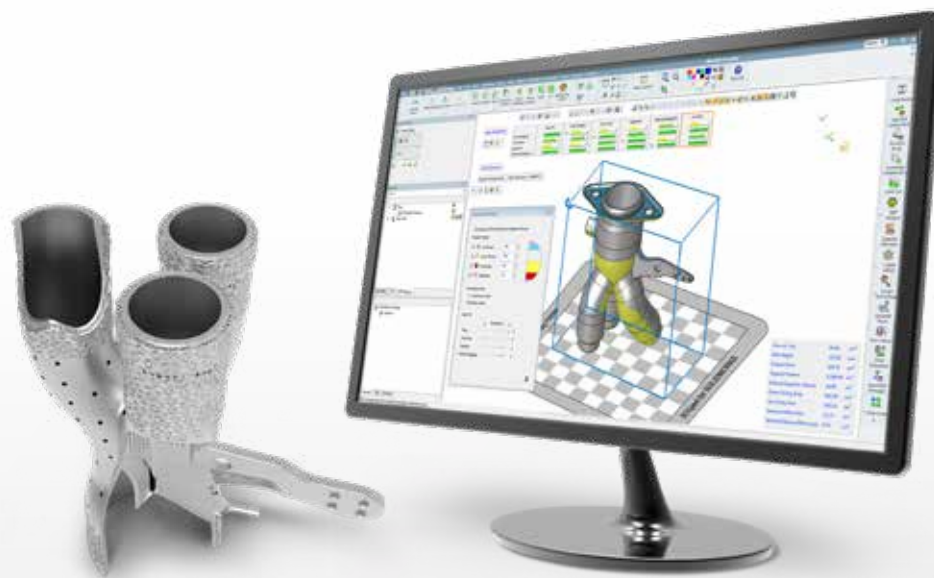
通过设计部件或定向部件来避免收缩线, 使特征沿 Z 方向构建时能够发散而不会收敛。

使用 3DXpert® 软件预测收缩线

3DXpert 是用于整个增材制造工作流程的一体化集成软件,提供自动化和用户完全掌控的终极组合。

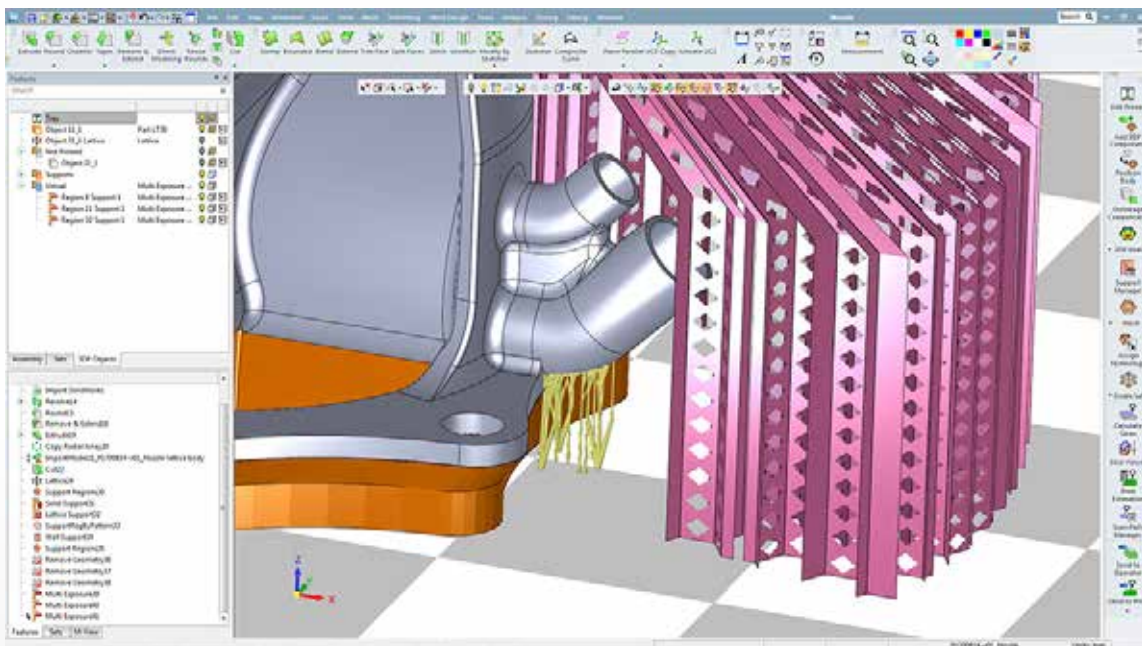
3DXpert 中的仿真工具能够帮助用户有效预测部件上可能发生位移的位置及方式,以便按照预期结果优化支撑物放置。

3DXpert 还可通过使用补偿模型最大限度地减少手动操作,在这种情况下,软件会阻止预测的位移发生以达到理想状态。



支撑结构

传热过程需要使用适当的支撑物，以防止翘曲、最大限度地减少浮渣形成并减少收缩线。



支撑结构的类型众多。

以下列举了部分示例：



墙壁
支撑物



实心
支撑物



晶格
支撑物



实心
墙壁



圆锥形
支撑物



手动
圆锥形

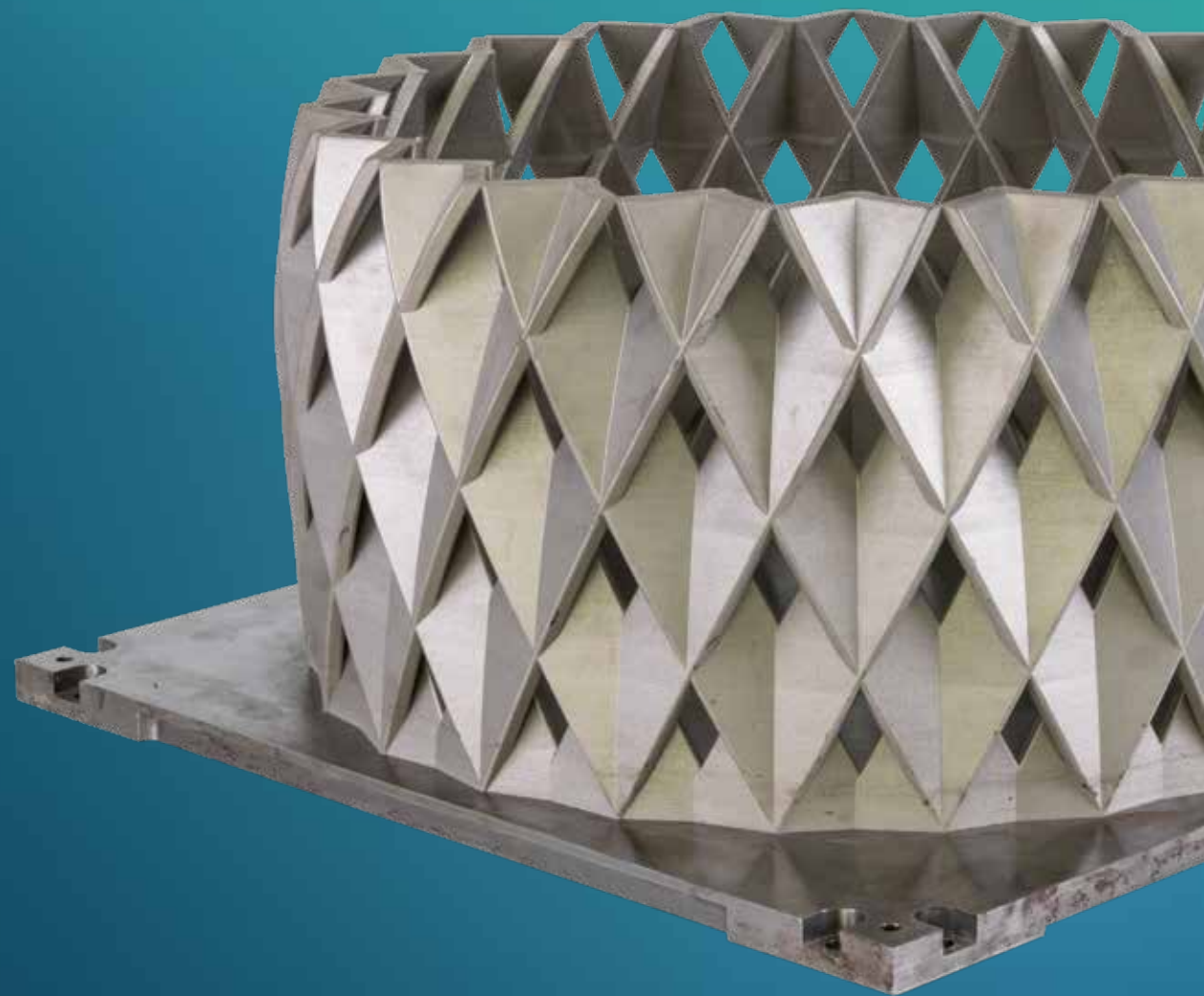


裙式
支撑物



多次
暴露

减少支撑物 策略



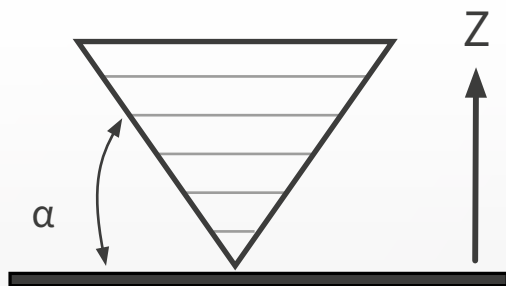
不使用支撑物可以构建什么？

钢、不锈钢、铬镍铁合金

- 大型* 面朝下的区域 $\alpha > 60^\circ$
- 中型* 面朝下的区域 $\alpha > 50-55^\circ$
- 小型* 面朝下的区域 $\alpha > 45^\circ$

钛、铝

- 大型* 面朝下的区域 $\alpha > 50^\circ$
- 中型* 面朝下的区域 $\alpha > 40-45^\circ$
- 小型* 面朝下的区域 $\alpha > 35^\circ$

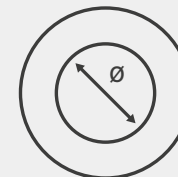


* 这些值基于 ProX DMP 320 打印机得出, 可因打印机型号、特定几何形状和改进的构建样式而有所变化。

这些区域的大小取决于部件几何形状。

水平圆孔

- 无支撑物 \varnothing 内径 < 10 毫米
- 需要支撑物 \varnothing 内径 > 10 毫米



水平搭桥

- 无支撑物 $L < 1.2$ 毫米
- 需要支撑物 $L > 1.5$ 毫米

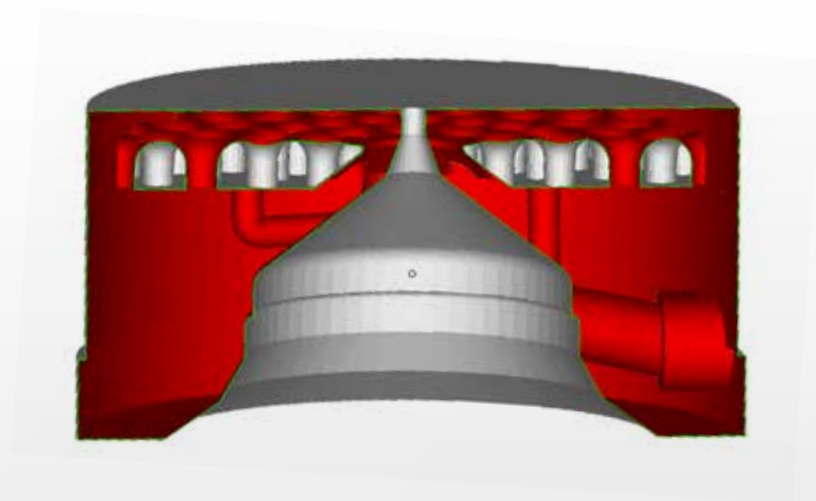
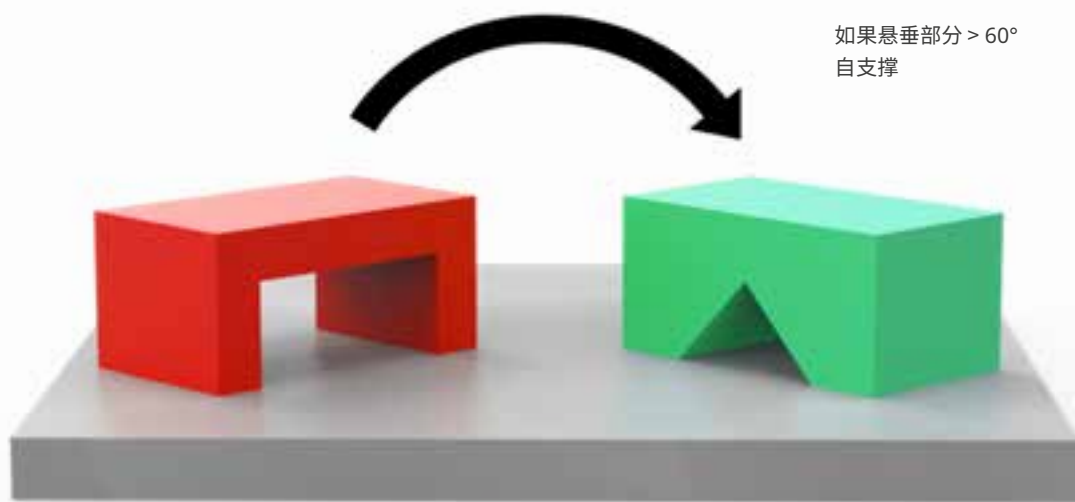


水平搭桥

- 无支撑物 $L < 2$ 毫米
- 需要支撑物 $L > 2$ 毫米



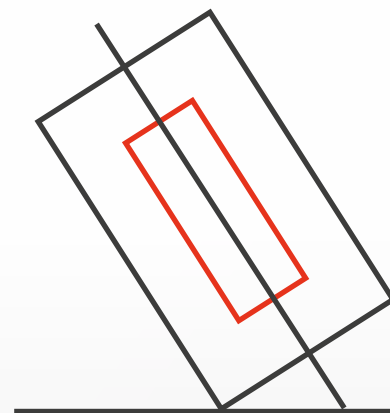
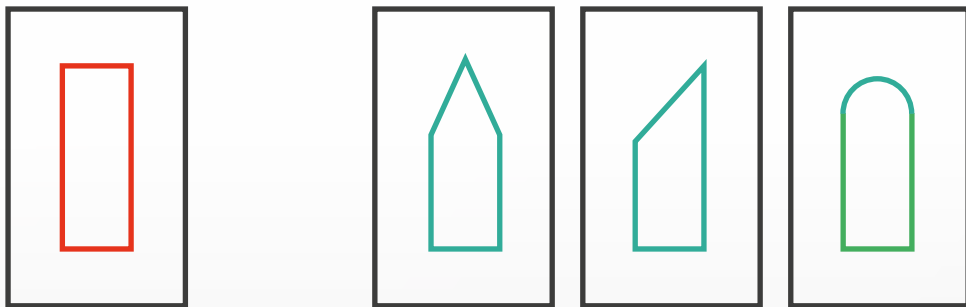
避免面朝下曲面并构建带有自支撑的几何形状



流道设计

无法打印较大(内部)悬垂部分

- 更改内部流道的设计(接近 $> 45^\circ$)
- 将部件的角设计为自支撑角 (45°)
- 部件外部可能需要额外支撑结构



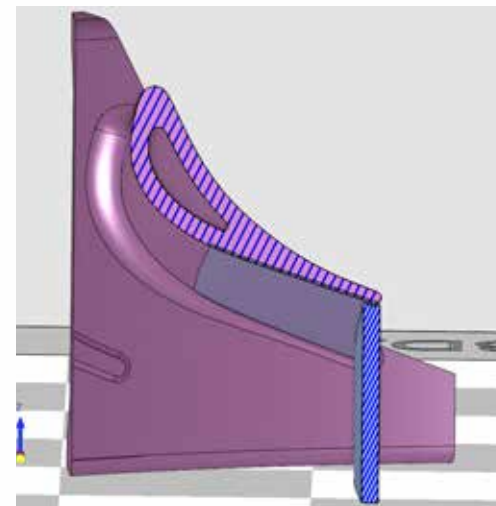
配备 3DXpert® 的 NoSupports™ 金属打印

策略均由 3DXpert® 软件提供支持,可在不使用支撑物的情况下实现金属 3D 打印

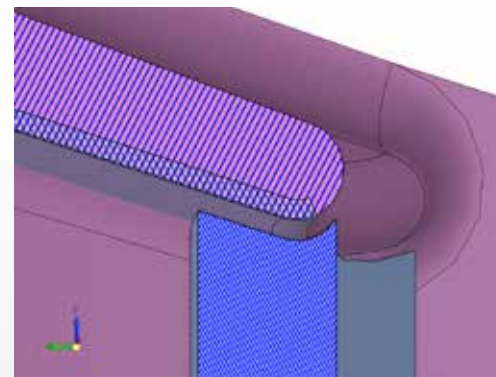
具有先进金属增材制造功能的 3DXpert 软件包以 3D Systems 领先的专业知识和打印机平台为依托,可通过多重曝光和热刀片等功能扩展设计范围,助您实现无支撑打印。

3DXpert 是用于整个增材制造工作流程的一体化集成软件,提供自动化和用户完全掌控的终极组合。

- 参数化和基于历史的混合 (b-rep 和网格) CAD 工具
- 基于历史的方法有助于在任何阶段进行变更
- 内置仿真加速设计验证
- 优化打印策略,以缩短打印时间,同时确保质量



热刀片
非接触式支撑物



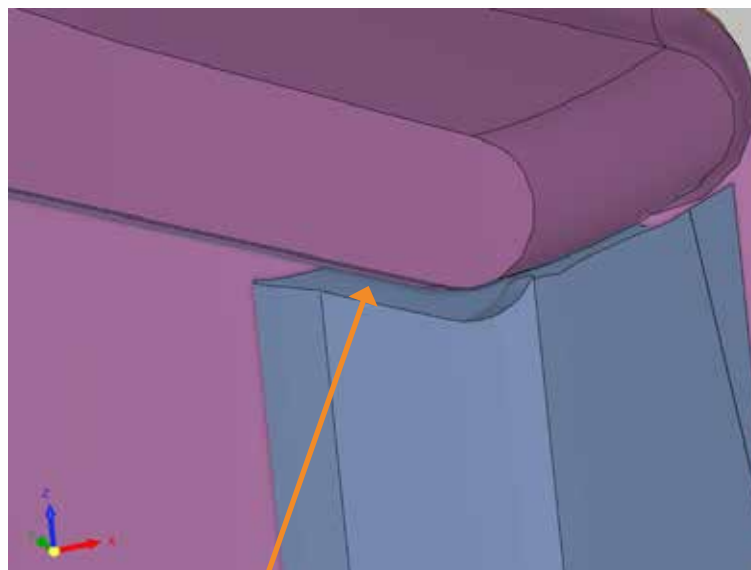
多次暴露
面朝下多次扫描所得的参数

热叶片

非接触式支撑物

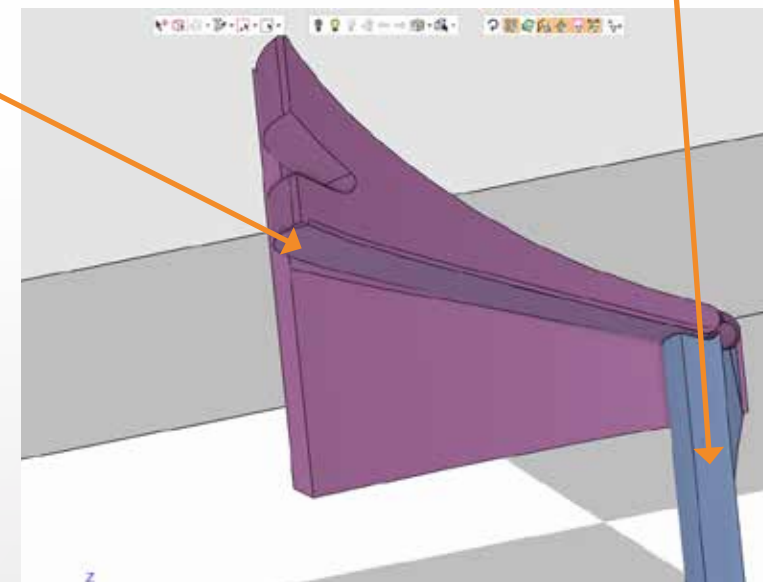
热叶片所具有的结构能够传递热量并控制最小角度特征的焊接过程, 而无需对部件进行焊接。

- 使用 3DXpert 的“实心支撑物”功能
- 支撑角度较小的面朝下曲面并对前缘进行热管理
- 热叶片充当散热器, 可通过粉末层将热量发散至热叶片
- 间隙经过优化, 可轻松移除, 无需实体支撑物与部件接触
- 无需去除接触残留物



热叶片

粉末间隙

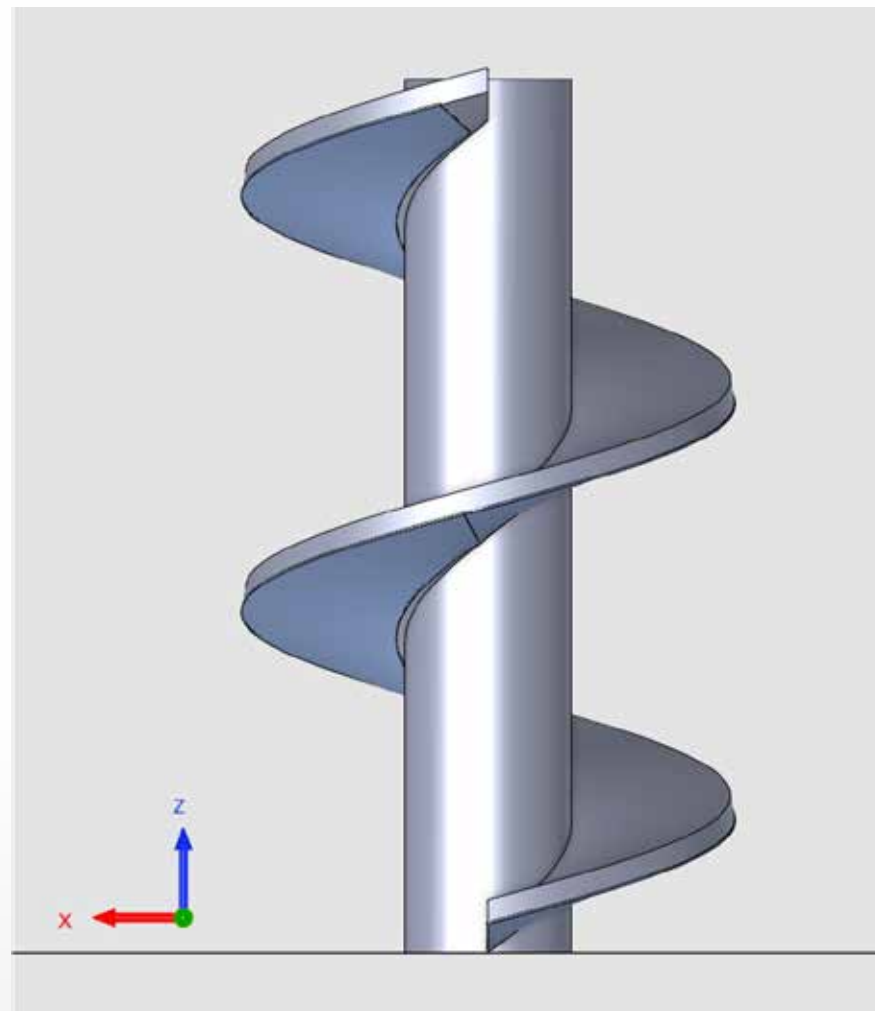


多次暴露

根据面朝下多次扫描得出参数

多重曝光可大幅降低自支撑角度, 同时保持高品质表面光洁度。

- 采取策略, 持续构建无法设计或取消支撑的低悬垂区域
- 进行面朝下改进
- 多重曝光参数可应用于特定区域



将 NoSupports 应用于高级应用

3D Systems 的应用创新小组正在对整个 3D Systems DMP 材料目录进行参数开发,并定期与客户合作,开发无法通过传统 DMP 支撑策略实现的、高度优化的部件。

获取解决应用挑战方面的帮助,请联系3D Systems 的[应用创新小组](#)。



部件摆放指南



整体构建质量

基于整体质量的部件定向主要取决于面朝下曲面。

面朝下曲面是部件质量最差的曲面,粗糙度较高。我们通常可以通过减少面朝下区域的数量提高部件的质量。

面朝下曲面是指在自支撑角 (α) 以下的曲面。

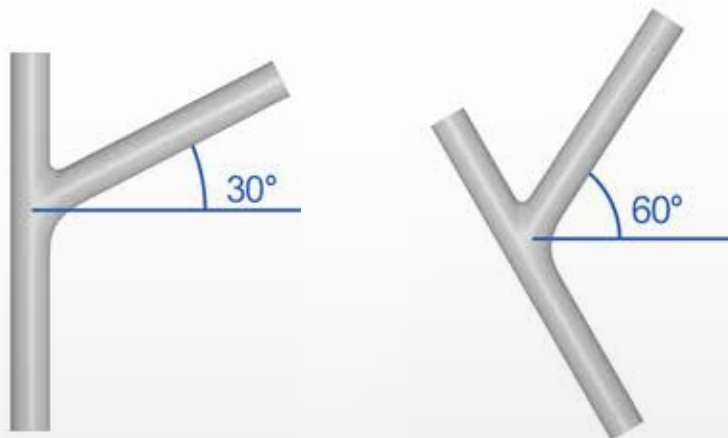
自支撑角取决于材料和打印流程。

- 钛合金 $\alpha=40-45^\circ$
- 钢材、CoCr、铝合金 $\alpha=50-55^\circ$

以下示例展示了此情形:

左边部件的支腿与建模板成 30° 角,因此必须为此支腿提供支撑物(原因是其小于自支撑角)*。

将同一个部件旋转 30° 后,该支腿与建模板之间的角度为 60° 。此时不需要在此区域提供支撑物来提高该部件的整体质量。



*带滚筒系统的金属打印机(如 3D Systems 的 DMP 打印机)
在打印钛金属时角度最低可达 30°

避免面朝下曲面

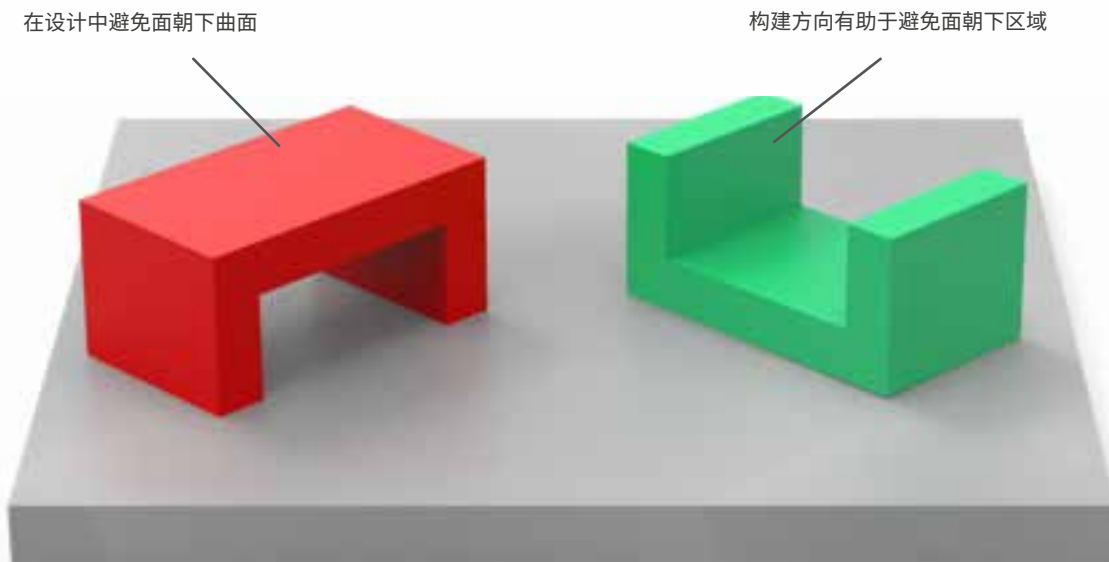
避免较大悬垂部分或较大面朝下部分。

如果部件具有中间和面朝上部分而不具有面朝下区域,则可以更好地构建部件。

↓ 减少浮渣形成

↓ 减少收缩线形成的可能性

↓ 减少支撑物



红色部分的方向不好,因为其具有较大悬垂部分。

绿色部分的方向较好,因为其直接构建在基板上且不具有面朝下区域。

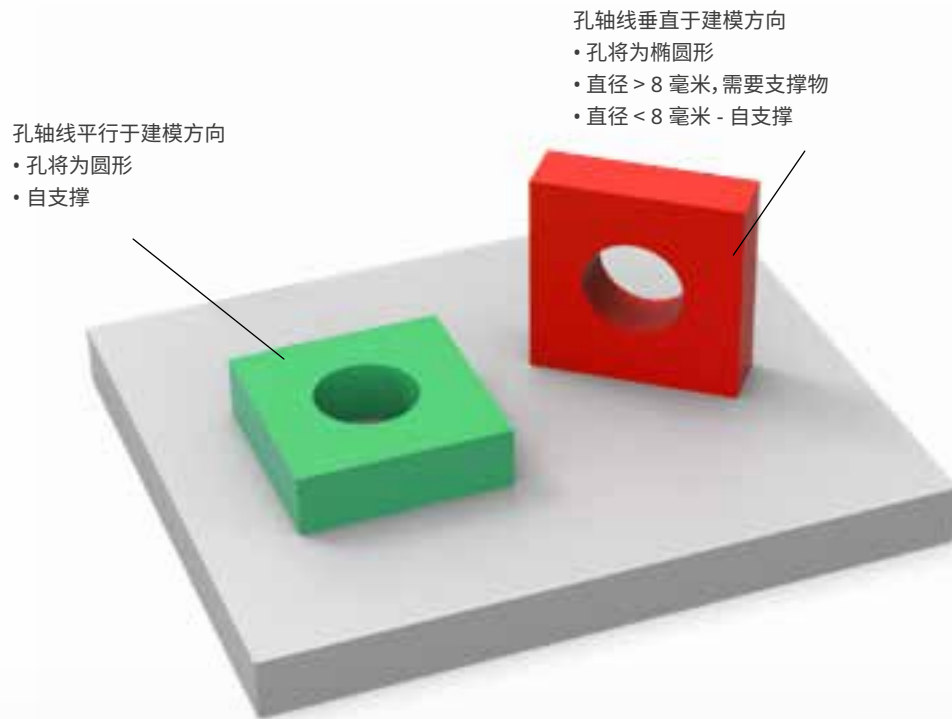
具体特征

打印特征(如孔、型腔、螺纹等)的质量取决于部件的摆放方向。

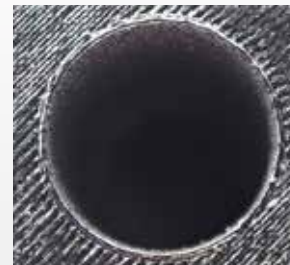
沿 Z 方向(垂直于建模平台)打印时质量最佳。

在 X/Y 方向(平行于建模平台)上打印这些特征时,由于面朝下效应,这些特征的质量会变差。

以一定角度打印特征可减缓收缩线的形成速度。由于圆顶与孔的热负荷条件不同,因而可在不使用支撑物的情况下打印直径更大的圆顶。打印质量因特征而异。



在不使用支撑物的情况下,可打印直径为 15 毫米的圆顶



垂直构建的孔的示例



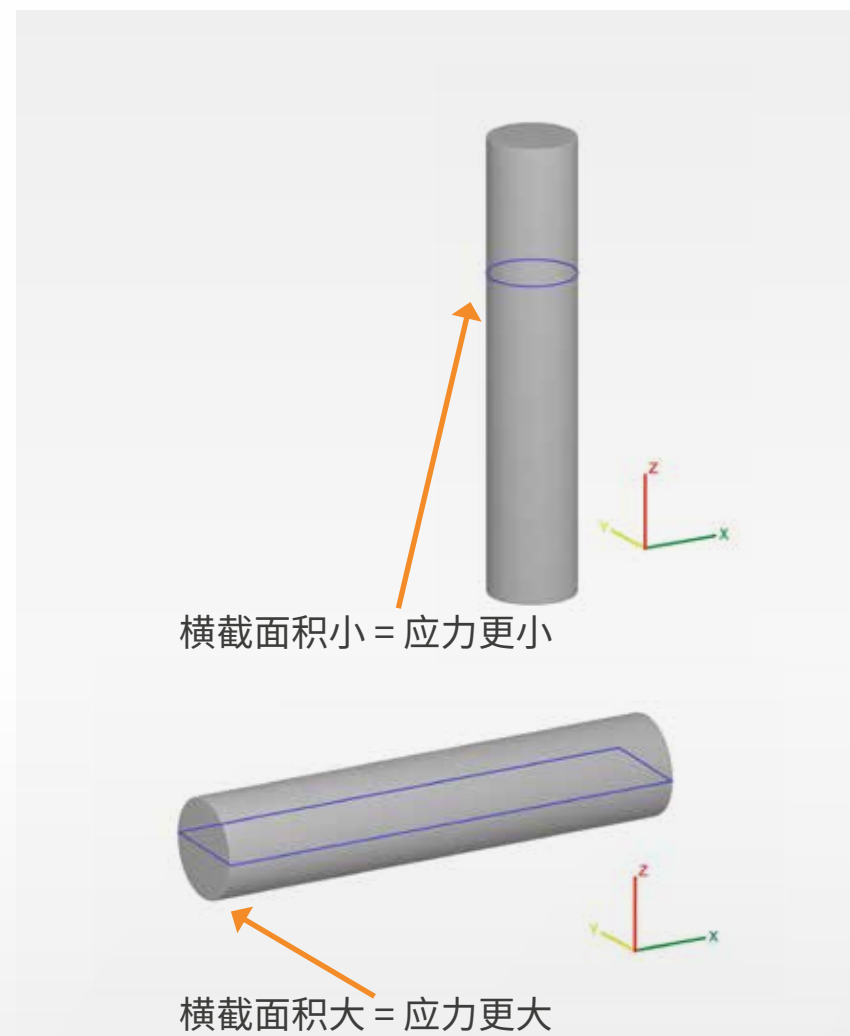
水平构建的孔的示例

热应力

在确定部件的方向时,我们希望尽可能减少热应力。

产生这些热应力的原因是,先局部加热粉末,然后在粉末熔化后进行快速冷却。尽可能减少热应力的一种方法是尽量减小横截面积(即实际扫描的每一层的面积)。

如右图所示:顶部定向方式的横截面积小,热应力将会降低至最小。底部定向方式可以打印成功,但要将部件固定到位,需要非常坚固的支撑结构。



微小特征

主要取决于

- 材料
- ORIENTATION 工具
- 部件几何形状
- 层厚
- 激光光斑大小

最小特征与高度无关

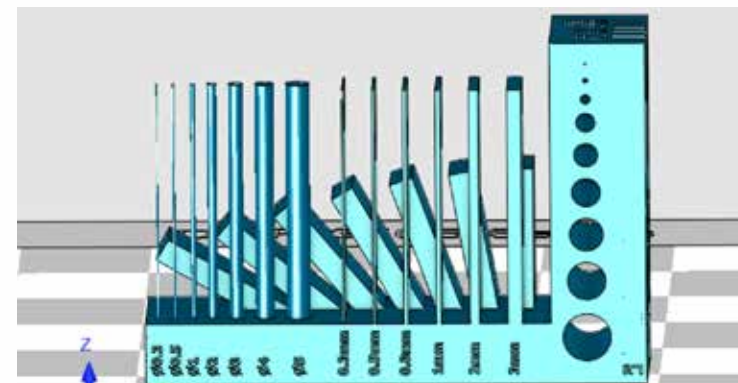
- 壁厚 (具有气密性) – 0.20 毫米
- 支柱直径 – 0.50 毫米
- 最小高度特征 < 5 毫米
- 壁厚 – 0.18 毫米
- 支柱直径 – 0.18 毫米

这些值基于 ProX DMP 320 打印机得出, 可因打印机型号、特定几何形状和改进的构建样式而有所变化。



此测试样本证明了几何形状是决定因素之一。0.3 毫米和 0.5 毫米的支柱以及 0.3 毫米肋条之所以断裂, 是因为此处它们被设计为 50 毫米高的独立部件。

尺寸最小的支柱对于此长度而言相当脆弱, 在卸下部件时非常容易断裂。



由于最小壁厚很脆弱, 薄壁在构建到一定高度时会开始弯曲。这一现象表明我们可以完美地构建此类薄壁, 但仅限于有限高度。

最小孔尺寸: 如果需要打印极小的水平孔, 建议将其偏移, 以便对孔顶部形成的浮渣进行补偿。

设计 指南



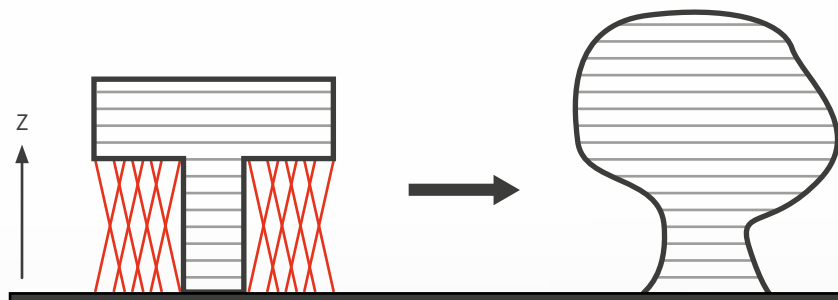
设计有机形状的结构

避免构建专为采用铸造或数控加工方式制造而设计的部件。这类部件通常：

- 具有尖锐的角
- 横截面会突然变化
- 采用 3D 打印几乎没有成本优势

使用有机形状的结构

- 避免面朝下区域，便可提升曲面质量并降低支撑物需求
- 实现更高精确度
- 在许多情况下可减少更多重量



尺寸精度

- 层与层之间逐渐过渡：
 - 采用圆角 (半径)、圆弧形
 - 采用倒角
 - 采用有机设计
- } 避免应力聚集
- 采用足够的支撑物将部件固定到位；热处理之后会释放应力
 - 使用增材制造设计原理的拓扑优化
 - 减轻重量
 - 缩短打印时间
 - 提升刚度-重量比
 - 新增无支撑打印功能
 - 减少支撑物 + 减少变形 = 提高产品质量
 - 采用传统后处理方法来提高准确度

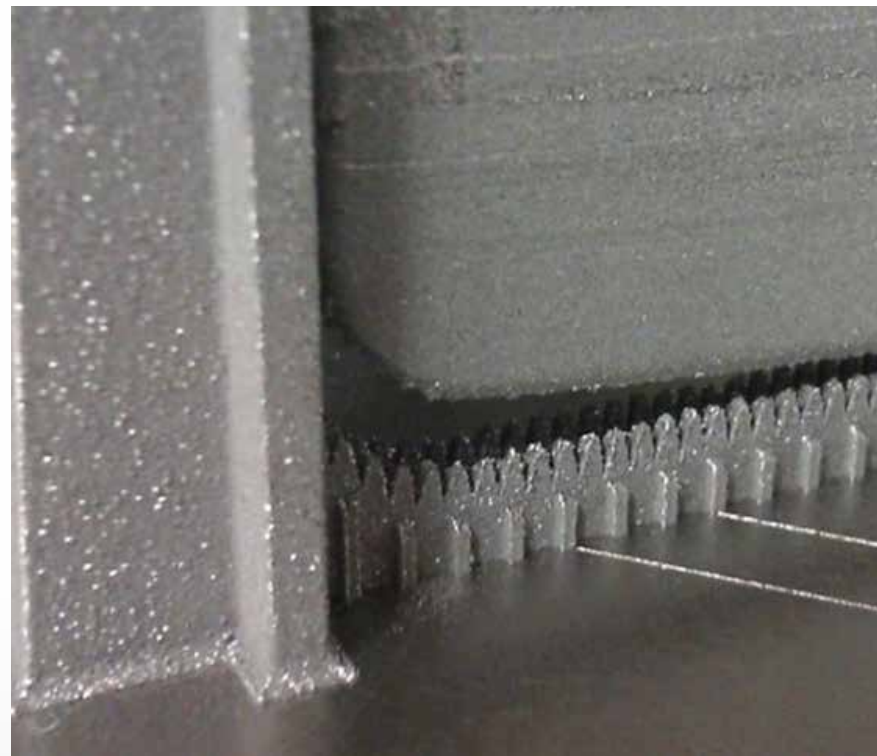


经过拓扑优化的泰雷兹阿莱尼亚宇航公司的卫星支架

- 189.0 x 229.5 x 288.5 毫米
- 与传统设计相比, 刚度-重量比得到提升且重量减轻了 25%
- 采用 LaserForm Ti Gr5 (A) 材料在 DMP Flex 350 金属打印机上打印而成

增大半径

- 大量部件都会有大量应力积累,甚至会导致建模板翘曲,如图所示
- 需要注重设计,避免基板或几何形状变化时开裂。应力积累较多的部位先开裂,例如角落处
- 在涉及到底板时使用半径和抵消
- 典型半径:2.5 - 5 毫米

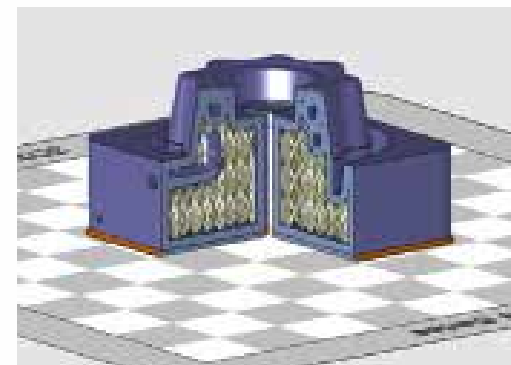


减轻重量的技巧

- 支架/晶格结构
 - 减轻重量
 - 支持用于医疗应用的骨骼连接
- 可以采用不同类型的支架/晶格结构
- 拓扑优化
- 需要对机械部件进行额外分析



应用内部晶格结构,大大减少了此部件的最终质量



ESA 燃烧室利用 12% 体积密度网格,显著减轻了重量

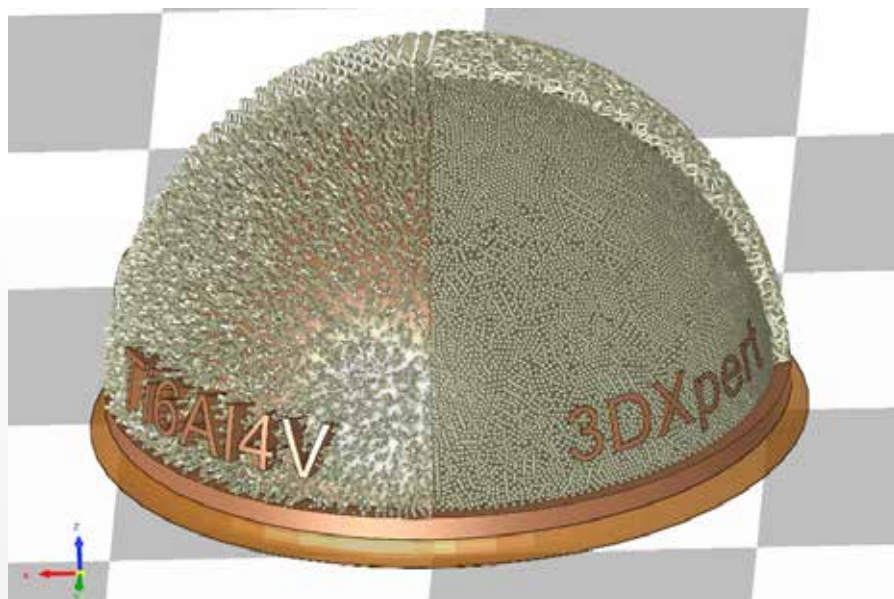


泰雷兹阿莱尼亚宇航公司生产的地球同步通信卫星的天线支架 (190 x 230 x 290 毫米)

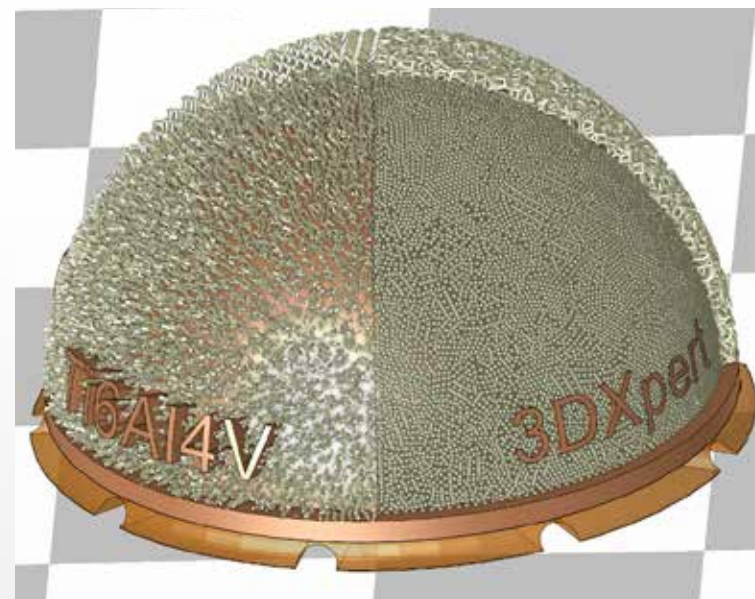
粉末清除

- 检查部件的内部腔体, 因为粉末可能残留在此处
 - 在部件内的最佳位置设置粉末清除排放孔
 - 添加小管道, 降低将空气吹入部件内的难度

- 粉末通常具有良好的流动性, 因此可以借助已压缩的空气和振动将其清除



✘ 部件无粉末清除孔设计



✔ 此部件内部中空, 因此残留有许多粉末。线切割偏移下的底部小孔可用于清除粉末

操作注意事项

Do

- 提高附加值
- 优先考虑功能性要求
- 以增材方式设计:经过拓扑优化的自由形态有机形状
- $\alpha > 45^\circ$
- 发散式设计
- 圆弧/圆角/倒角
- 减小面积 = 减小体积
- 避免层与层之间的较大面积变化
- 在设计过程中尽早确定构建方向

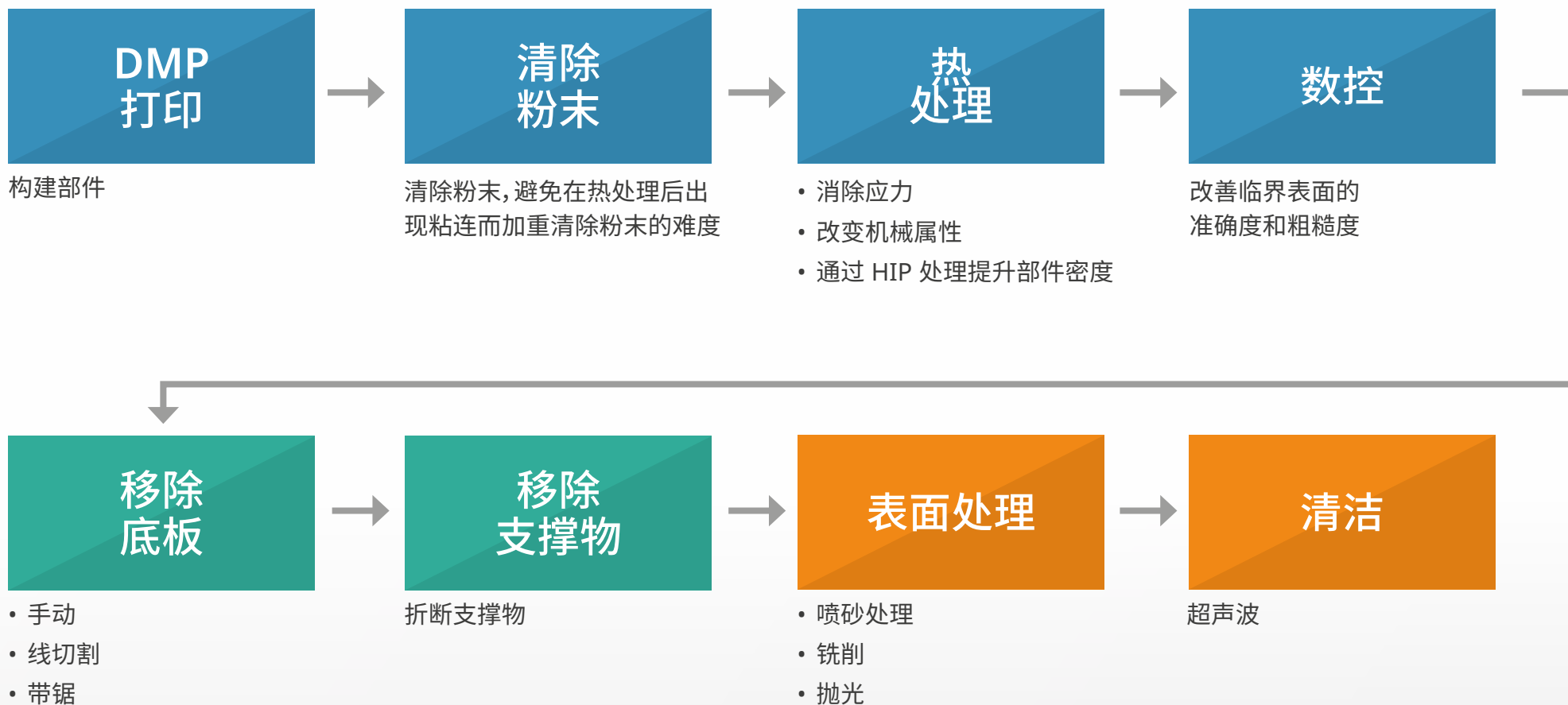
不可取做法

- 以减材/传统方式进行设计
- $\alpha < 45^\circ$
- 收敛设计
- 直角、平整悬垂部分
- 增大截面积
- 优先考虑可制造性

后处理



典型工艺流程*



*此工作流程并不详尽, 仅用于说明目的。其他后处理操作可能与类似材料的其他生产技术相似, 但是需要增材制造专家进行微调。

其他后处理选择

- 在部件上涂漆
- 常见质量检查：
 - 使用 X 射线检查内部流道
 - 光学扫描, 用于检查尺寸准确度
 - Geomagic 软件, 可根据扫描数据显示建模后变形
 - 3DXpert, 可预测建模后变形并对其进行补偿





DMP FACTORY 500 解决方案

可扩展金属增材制造, 用于无缝大型部件

- 建模体积为 500 毫米 x 500 毫米 x 500 毫米
- 集成式粉末管理
- 稳定的低氧环境
- 智能、无缝的部件生产
- 可扩展的生产制造



DMP FLEX 100

经济适用且精准的金屬 3D 打印机, 缔造精细特征和优质壁厚

- 建模体积为 100 毫米 x 100 毫米 x 90 毫米
- 精细特征、薄壁
- 一流的表面光洁度
- 独特的滚筒/铺粉系统
- 几乎可以完美地将任何粉末分层



DMP FLEX 350 和 DMP FLEX 350 DUAL

耐用灵活的金属 3D 打印机可进行全天候 (24/7) 部件生产

- 建模体积为 275 毫米 x 275 毫米 x 420 毫米
- 快速轻松的材料更换
- 稳定的低氧环境
- 高吞吐量、高度可重复性



DMP FLEX 200

专业且精准的金屬 3D 打印机, 配备 500W 激光源

- 建模体积为 140 毫米 x 140 毫米 x 115 毫米
- 易于装载和清洁
- 以更低成本获得卓越性能
- 精细特征、薄壁
- 一流的表面光洁度
- 独特的滚筒/铺粉系统
- 几乎可以完美地将任何粉末分层



DMP FACTORY 350 和 DMP FACTORY 350 DUAL

可扩展、优质的金属增材制造, 采用集成式粉末管理

- 建模体积为 275 毫米 x 275 毫米 x 420 毫米
- 集成式粉末管理
- 稳定的低氧环境
- 高吞吐量、高度可重复性

钛



LaserForm Ti Gr5 (A)
强度高、重量轻、生物相容性卓越



LaserForm Ti Gr23 (A)
强度高、重量轻、生物相容性卓越、
氧含量低于 Gr5



LaserForm Ti Gr1 (A)
强度高、重量轻、具有生物相容性、
极耐高温、耐腐蚀

不锈钢



LaserForm 316L (A)
可消毒、极耐腐蚀



LaserForm 316L (B)
可消毒、极耐腐蚀



LaserForm 17-4PH (A)
耐腐蚀性优异、强度高、韧性良好



LaserForm 17-4PH (B)
耐腐蚀性优异、强度高、韧性良好

马氏体时效钢



经认证的 M789 (A)
无钴高强度工具钢, 耐腐蚀性优异



LaserForm Maraging Steel (A)
硬度高、强度高、耐磨性良好



LaserForm Maraging Steel (B)
纯工具钢 (1.2709), 强度高、硬度大

钴铬合金



LaserForm CoCrF75 (A)
极耐腐蚀、耐磨、耐热; 具有生物相容性



LaserForm CoCr (B) or (C)
极耐腐蚀, 适用于生物医学应用

铝合金



经认证的 Scalmalloy (A)
高强度铝, 耐腐蚀性优异



LaserForm AlSi7Mg0.6 (A)
重量轻、机械性能优良、
导热性高



LaserForm AlSi10Mg (A)
机械性能优良、导热性好



LaserForm AlSi12 (B)
金属粉末, 适合轻量部件,
具有良好的热特性



A6061-RAM2 (A)
相较于 AlSi10Mg, 具有更高的
强度、延展性和表面光洁度

镍高温合金



LaserForm Ni625 (A)
耐腐蚀性优异、强度高、耐热性高

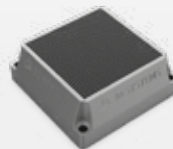


LaserForm Ni625 (B)
耐腐蚀性优异、强度高、耐热性高



LaserForm Ni718 (A)
抗氧化、耐腐蚀且极耐高温

难熔金属



Tungsten (A)
高密度难熔纯金属, 具有出色的辐
射防护能力和优异的耐腐蚀性

我们将竭诚为您提供帮助

三十多年以来, 3D Systems 始终致力于技术的创新, 并且拥有深厚的专业经验, 帮助各行各业制造商重新定义工作流程, 从而实现增材制造的效益。

我们致力于加快先进应用的开发。从产品安装到实践培训和咨询支持, 3D Systems 专家都能让您从原型设计到批量生产的过程更快更高效。3D Systems 的应用创新小组是一个由工程师、技术人员和设计师组成的专门团队, 他们可以帮助您解决最难的设计和和生产挑战。无论是识别技术差距、改进部件性能, 还是扩大制造流程, 每一个阶段我们都可以为您独有的目标提供专业知识。



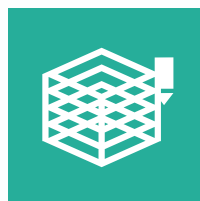
探索

战略咨询, 可确定客户需求



创新

面向增材 (DfAM) 的联合应用开发和设计, 可满足特定需求



开发

从预制原型到原型的质量检验和流程表征



确认

培训、验证和认证



开发

生产和制造服务



比例

扩大规模和技术合作服务

接下来将做什么？

让我们的专家为您提供支持帮助。
请立即联系我们—我们恭候您的垂询。

与专家交流